

火药与内弹道

李昼堂 编著

国防工业出版社

内 容 简 介

本书着重介绍火药与内弹道对武器弹道性能有关的主要技术和学术问题, 其中包含火药的能量、火药能量释放的控制、火药在膛内或发动机内燃烧的数学模型和工艺与测试等共21章, 可作为从事火药与内弹道专业人员的参考书或参考教材。

火 药 与 内 弹 道

李昼堂 编著

*

国防工业出版社出版

国防工业出版社印刷厂印刷 内部发行

*

787×1092 1/16 印张26 $\frac{1}{4}$ 608千字

1988年7月第一版 1988年7月第一次印刷 印数: 0,001—1,000册

ISBN 7-118-00170-8/TJ19内 定价: 8.60元



前 言

多年来,火药工作者注重从化工单元操作和单元作业出发,对生产工艺进行研究,而缺乏对成品性能作深入的了解,特别是对火药与炮、弹诸元间联系的了解,因而眼界不宽阔,解决问题的思路不广。本书的目的在于给火药及装药工作者提供这方面的既简明扼要,又有一定深度的知识。本书不是内弹道专著,因而不追求最新的解法和数理公式的推导,但注重理论的实际应用。

后起的内弹道解法,虽然能够解决老解法所不能解决的问题,但并不能完全代替老解法的作用。各解法在应用方面,根据不同需要,既各有所长,也各有所短,不能绝对排斥。本书的特点在于:

对理论方面进行综合讲述,把专业知识与基础理论紧密结合起来,消除化学工作者对内弹道学与火药学的特殊感;

把弹和箭用火药结合起来讲述;

对装药问题给予较多注意,有五章通过理论与实际相结合来讲述此问题;

有些章节内容是首次见于本书。

本书中有的内容是编著者自己的实践与见解,由于水平和时间关系,错误之处,在所难免,请读者指正。书末附有参考资料目录,本书有的图、表系取自它们,在此对这些资料的作者致意。

本书可供从事火药生产、使用方面的工程技术人员阅读,也可供有关的科研、教学人员和本专业高年级学生参考。

李昼堂

目 录

主要符号表	1
-------------	---

第一篇 火药的能量

第一章 火药（固体发射剂）的简单介绍	3
1.1 发射剂的分类	3
1.2 胶质固体火药的成份和分类	4
1.2.1 含有挥发性溶剂的硝化纤维素火药	4
1.2.2 双基药	5
1.2.3 含有不挥发性溶剂的火药	6
1.3 火药成份的选择	7
1.4 高能火药	13
第二章 热力学基础知识	17
2.1 定容过程和定压过程	17
2.2 化学反应热的求得	18
2.3 标准生成热和标准燃烧热	19
2.4 热焓与温度变化的关系	23
2.5 火药在定容下燃烧与定压下燃烧的温度关系	24
2.6 热变功——火药的热能作机械功	25
2.6.1 火药能的分配	26
2.6.2 膛内弹道的能量方程式——雷沙尔 (Resal) 方程式	27
2.6.3 极限速度 v_{lim} 和火药的总能储 f/θ	29
2.6.4 火炮“热机”的工作效率	30
2.7 火箭发动机的热力学基础知识	31
2.8 化学平衡式	32
第三章 火药的燃烧反应式及理化，弹道性能特性数	34
3.1 火药爆热的三种表示法及其相互间的关系	34
3.2 单位重量火药的实验式	36
3.3 火药的燃烧生成物	37
3.4 火药燃烧生成物与爆温的计算	41
3.5 火药的弹道特性数	46
3.5.1 火药力 f	47
3.5.2 火药的余容 α	48
3.5.3 火药的燃烧比速 u_1 简介	50
3.6 求火药特性数的经验式	51
3.7 火药特性数计算法举例	53

3.7.1 求火药的实验式	53
3.7.2 求火药的燃烧生成物	54
3.7.3 求爆热 Q_V	54
3.7.4 求爆温 $T_1 K$	56
3.7.5 求比容 V_1 、余容 α 及火药力 f	56
3.7.6 用比较爆热值的办法验算	57
第四章 火药特性数热焓法计算	58
4.1 热焓法的理论基础	58
4.2 热焓计算法举例	64
4.3 定容下水为液态时爆热 $Q_{V(l)}$ 的求法	66
4.4 定容下水为液态时,火药爆热 $Q_{V(l)}$ 的半实验计算法(杰-波乌或斯密特法)	67
第五章 有解离和副反应发生时,火药燃烧生成物的计算	73
5.1 在某指定标准温度下物质的总热焓	73
5.2 在有解离和副反应发生时火药燃烧生成物的计算	74
5.3 计算举例	78
第二篇 火药能量释放的控制——药形和燃速	
第六章 火药的几何形状及其燃烧变化	89
6.1 药形概述	89
6.1.1 枪炮用药的燃面变化	89
6.1.2 火箭药柱的燃面变化	91
6.2 气体发生速度和药形的关系	94
6.2.1 气体发生速度总式	94
6.2.2 恒面和减面药形的燃烧分数 ψ 和燃厚分数 z 的关系式	95
6.2.3 增面燃烧药形的 $\psi-z$ 关系式及其药形特性数	100
6.2.4 火箭药燃面或燃烧周边随弧厚的变化规律	111
第七章 火药的燃烧线速度	121
7.1 燃烧线速度方程式	121
7.1.1 方程的提出和所根据的数据	121
7.1.2 燃速式的理论推导	126
7.1.3 火药燃烧比速 u_1 的计算	127
7.2 火箭药柱的燃速	130
7.2.1 火箭药燃速的一般论述	130
7.2.2 催化剂和药柱的结构对燃速的影响	133
7.2.3 火药温度与燃速的关系	135
7.2.4 侵蚀燃烧对火箭药燃速的影响	136
7.2.5 加速度与燃速的关系	138
7.2.6 燃烧机理简介	139
第八章 火药燃烧定律——“立体燃烧”理论	143
8.1 理论与实测的 $p-t$ 曲线的差别	143
8.2 夏氏火药燃烧定律	145

8.3 克虏伯-施米兹 (Krupp-Schmitz) 燃烧定律	151
8.4 火药的动活性或猛度 Γ	152

第三篇 火药在膛内或发动机内燃烧的数学模型——内弹道解法

引言	159
第九章 内弹道发展史、主要解法的简介及火药在膛内燃烧的数学模型	159
9.1 年表	159
9.2 经典内弹道解法的评价	162
9.3 火药在膛内燃烧的数学模型, 用电子计算机解内弹道方程	165
9.3.1 基本方程的扩写	165
9.3.2 计算程序	168
9.3.3 程序通用化	171
第十章 炮、弹诸元与火药特性数关系的鸟瞰	173
10.1 内弹道的半实验解法	173
10.1.1 海登赖希 (W. Heydenreich) 解法	173
10.1.2 勒迪克 (A. Leduc) 解法	178
10.2 克兰茨 (C. Cranz) 内弹道解法	182
10.2.1 克兰茨图解法	187
10.2.2 克兰茨表解法大要	189
10.3 简单的分析解法——等温法	190
10.4 初速和膛压的单项式及微分修正式	196
10.5 弹道参量变化对弹道性能指标的影响——改善射程密集度如何 分配弹重公差与装药公差的问题	205
第十一章 火箭发动机性能和火箭火药的重要参数	208
11.1 一般论述	208
11.1.1 火箭的运动方程	208
11.1.2 火箭发动机的喷管性能	214
11.2 火箭发动机中火药的重要参数	223
11.2.1 推力 R	223
11.2.2 有效排气速度 U_e	225
11.2.3 比冲量 I_1	226
11.2.4 流量系数 $C_{\dot{w}}$	230
11.2.5 推力系数 C_R	231
11.2.6 特征排气速度 U^* 的求法及其物理意义	232
11.2.7 用喷管和推进剂性能参数所表示的种种火箭运动方程式	234
11.2.8 产生自旋的倾斜喷管	236
第十二章 火箭发动机燃烧室内的压力-时间曲线	240
12.1 火箭燃烧室内 $p-t$ 曲线微分方程组的建立	241
12.2 火箭发动机性能的基本关系式	244
12.3 求火箭燃烧室内的最大压力 $p_{0\max}$ 和 ψ_m	248

12.4 燃烧室内气体的压力和流动速度的变化	250
第十三章 火药装药的点火	253
13.1 点火过程的理论探讨	253
13.2 应用 Γ 特性数对发射药装药的着火情况进行分析	255
13.3 装药点火体系的研究	257
13.4 中心传火管结构	258
13.5 火箭弹装药的点火	261
13.5.1 点火压力或点火药量的确定	261
13.5.2 火箭弹点火具结构及其所安放的位置	262
第十四章 装药药粒(柱)的设计——药形尺寸和组成份	264
14.1 火炮用单一装药的药粒设计	264
14.1.1 火药成份与理化弹道性能特性数	265
14.1.2 求装药量 ω	265
14.1.3 求火药的燃烧层厚度 $2e_1$	266
14.1.4 检验火药粒是否在炮管内燃完	268
14.1.5 由火药的最小尺寸 $2e_1$ 求药粒的其它尺寸	264
14.1.6 设计结果的验算	269
14.1.7 药模设计	269
14.2 混合装药的设计	271
14.2.1 混合装药的特性数	271
14.2.2 混合装药火药的设计步骤	274
14.3 发动机装药设计	275
14.3.1 火箭药柱的设计	275
14.3.2 控制燃烧室内反应时间的诸参数	288
第十五章 炮用装药结构	290
15.1 对火炮装药结构的要求和分类	290
15.2 关于点火药的配置和基本药包(管)的应用	292
15.3 对装药几个特殊问题的讨论	295
15.3.1 维也里压力波	296
15.3.2 在长药室中管状药传火对膛压的影响	296
15.3.3 关于装药结构的评价和所需发射药品号的论述	298
15.4 装药中挥发份的变化——水份的迁移	301
15.4.1 关于发射药中水份在贮存与使用中的变迁	301
15.4.2 炮弹发射装药中,各组成部件水份的变化及影响	306
15.5 展望	308
第十六章 枪用装药提高装填密度Δ的研究	310
16.1 历史的回顾	310
16.2 关于“表面光滑”学说	310
16.3 实验证明	313
16.4 影响火药假比重的因素	314
16.5 结束语	318

第十七章 火箭装药的“边缘”问题	320
17.1 防锈漆层的厚薄对发动机性能的影响	320
17.2 药柱的应力与应变	324
17.2.1 聚合物的应力-应变关系和壳体包覆的药柱, 其应力、应变的概述	324
17.2.2 单孔管状药柱只受内、外压力时的应力分析	328
17.2.3 几种装药的应力计算	330
17.2.4 壳体包覆药柱的热应力计算	336
17.2.5 关于控制壳体包覆药柱后端应力大小的规律	337
17.2.6 改进推进剂力学性能的方法	337

第四篇 工艺与测试

第十八章 发射药生产工艺概述	341
18.1 当前发射药生产的工艺水平	341
18.2 对发射药生产自动化工艺的探讨	347
第十九章 压伸装置的设计与制造	350
19.1 压伸装置的作用和结构	350
19.2 压伸装置的强度计算	351
19.3 药模单体与模针结构	354
19.3.1 药模单体的数量即出药孔数的问题	354
19.3.2 药模单体和针架的设计	356
19.3.3 关于多孔药内外弧厚应该如何控制的讨论	358
19.3.4 如何在药模设计上防止针的“内聚”	360
19.3.5 模针长短对药粒尺寸的影响	362
19.4 关于压伸操作的安全问题	362
19.5 多孔出药压伸装置的通水冷却问题	363
第二十章 内弹道测试的基本概念	364
20.1 关于初速 (v_0)、炮口速度 (v_{mu}) 和绝对速度 ($v_{mu,a}$) 的意义与关系	364
20.2 初速的炮口修正量 (Δv_e), 即由 v_e 修正到 v_0	367
20.3 火药压力的测定	368
20.4 关于标准药问题	369
20.5 关于火药试验前的保温问题	372
20.6 初速或然误差指标的物理意义	373
第二十一章 发射药初速均匀性的评定	375
21.1 一般理论	376
21.2 高斯式的求法	377
21.3 高斯式中常数 A 及 $1/\alpha^2 (=h^2)$ 的确定	378
21.4 高斯式中 h 的物理意义	380
21.5 均方差 $\mu = \sqrt{\frac{\sum(\Delta v)^2}{n}}$	280
21.6 半数偏差或 50% 的偏差 ($\Delta v = w$)	381

21.7 真实偏差和最可能偏差	382
附录	385
附录一 某些与火、炸药有关物质的定容、定压生成热, 燃烧热	385
附录二 [苏]德罗兹多夫 (Н. Ф. Дроздов) 教授的内弹道解法表 (摘录)	395
附录三 需换算的计量单位表	409
参考资料	410

主要符号表

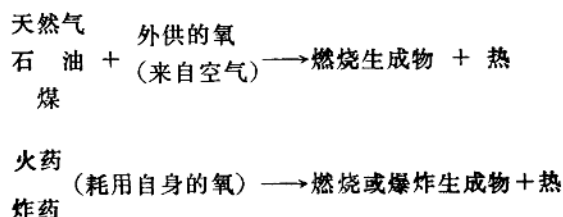
A	横断面积	L	长度
	受热固体表面积	L^*	发动机特征长
A_f	有效气流面积		$\left(= \frac{\text{燃烧室自由容积}}{\text{喷喉断面积}} \right)$
A_i	发动机和喷管内表面积		
A_o	火箭外表面积	$L_o(l_o)$	药室缩径长
A_p	装药燃烧瞬间燃烧室通气面积	l	弹丸位移 (长)
a	燃烧比速	l_b	燃完位置 (长)
C	音速	M	马赫数
C_o	对应于燃烧室内气体状态下的音速	M_o	火药气体分子量
C_w	流量系数	$N(n)$	燃速压力指数
C_K	推力系数		摩尔数
D	固体物平均直径	P	多孔药弧周边
E	火药气体功	p	压强
	杨氏模量	p_e	喷喉排气面压力
ΔE	内能增量	p_o	测压器测得压力
ΔE_f	定容生成热	p_q	弹底压力
e_i	火药 (枪炮) 弧厚之半	$\bar{p}$	计及点火压力的弹后空间平均压力
F_c	燃烧室断面积	p_{ig}	点火压力
f	火药力	Q_v	爆热
f_o	理论换算火药力 $= nRT_o$	q	弹丸重; 火箭喷出装药后的重
g	重力加速度	R	推力, 半径
H	总热焓	r	火箭药燃速
$\tilde{H}$	摩尔热焓	S	表面积; 炮膛横面积; 药柱 (粒) 某时燃烧面积
ΔH	热焓差	S_s	药粒分解时的燃烧面积
ΔH_f	生成热	S_1	药粒原始表面积
ΔH_c	物质燃烧热	S_T	药柱面对喷喉面的端面积
κ	通气参量	T_o	爆温
I_1	比冲量	T_1	火药原来的爆温
J	通-喉面比 $\left(= \frac{\sigma_{or}}{A_p} \right)$	t	时间
K_r	面喉比 $\left(= \frac{s}{\sigma_{or}} \right)$	U	火药气体喷出燃烧室速度
k	绝热指数	U^*	排气特征速度

u_i	枪炮药燃烧比速		
V	容积	σ_{ar}	用应力
V_1	比容	σ_s	喷喉断面积
v	弹丸速度	x	喷管排气面积
v_0	初速		药形系数;
W	火药功		燃烧室压力比 $\left(\frac{p}{p_0}\right)$;
$\dot{W}$	气体每秒排出量	ψ	燃去分数
w	火箭药弧厚	φ	虚拟系数
w_s	已燃弧厚	ω	装药量
Y	总气体流出量 $\left(=\int_{t_0}^t \dot{W} dt\right)$		常用下角标
$Z = \frac{e}{e_1}$	燃去的弧厚分数	a	绝对值; 有效的或可用的
α	余容	e	有效值;
Δ	装填密度	lim	极限值
η_p	装药利用系数	p	推进剂
Λ	药粒燃至某时的体积	g	气态
Λ_1	药粒原始体积	l	液态
Λ_b	燃去药粒体积	S	固态
v	药柱包生比	max	最大值
ρ	密度	mu	膛口
σ	燃面比; 喷喉某处断面积; 许	0	初始值; 基值
		i	起始值
		f	终值

第一篇 火药的能量

在火炸药的诸特性中，能量是首要因素。火炸药作为兵器的能源，其重要性正如天然气、石油和煤等作为整个工农业的能源一样。用热力学的观点，系统分析火药燃烧所产生的能量（爆热或火药力，比冲），对科研、生产和使用火药都具有极重要的意义。

太阳的辐射能是地球上一切生命的源泉



第一章 火药(固体发射剂)的简单介绍

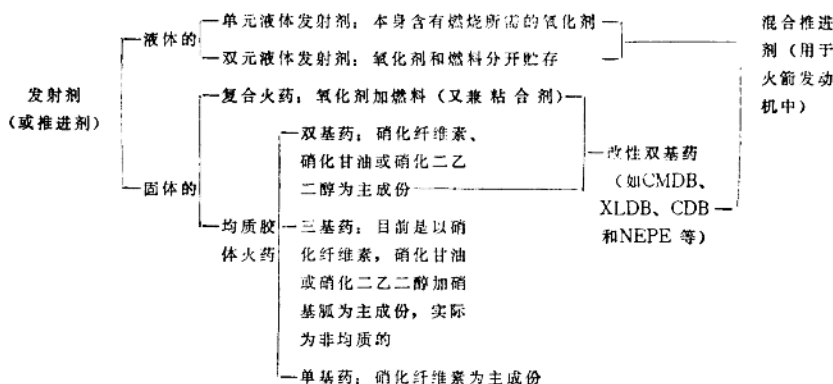
自 1884 年法国维也里 (Vielle) 发明无烟药“B 火药”以来，已一个世纪了，作为战争用物资，它经过了两次世界大战和更多的中、小战争使用考验，显示了它的威力。近百年间，火药的较大发展，可数者有：安定剂的改进与安定性的提高、品种的增多和能量的提高、连续化，自动化工艺的出现和自动设计程序的广泛应用等。然而，此种变化，尚难与由黑火药变为无烟药的飞跃相比拟。放眼未来，有核能、离子、光子作为发动机推进能使用的设想，然而短期内改变化学能作为主要发射剂的方案，尚付阙如。有志之士，当思共同努力，以促成火药发生阶段性的大变革。

本书将从内弹道学的观点，讨论有关固体发射剂即火药的理论和重要工艺问题，至于液体发射剂的性能要求等问题，本书将不予讨论。本章主要介绍在发射剂中具有悠久历史、而现在仍居重要地位的均质胶状固体火药。对于复合火药将在第 18 章中作简单介绍。

1.1 发射剂的分类

自从远程火箭出现并广泛生产、装备后，发射剂一词，已不再是专指应用于枪、炮中的火药了，到目前为止，它的内容至少包括表 1.1 所列的几大类。

表1.1 发射剂的分类



注: CMDB为复合改性双基推进剂

XLDB为交联改性双基推进剂, L系联接之意

CDB为复合双基推进剂, 系粘结剂复合化, 提高了物理性能, 能量有所降低

NEPE为新型改性推进剂

以上推进剂的详细介绍见本章和第十七章末的论述

1.2 胶质固体火药的成份和分类

其所以称为“胶质固体火药”, 是因其在制造过程中, 胶化完全后, 有的具有半透明的角质(如牛羊的角质)结构, 现在已不如此称呼, 只简单地称为“火药”了, 按其成份、制造方法及所使用的溶剂等的不同而分为下列三大类:

1.2.1 含有挥发性溶剂的硝化纤维素火药

此种单用硝化纤维素作能源的药筒称单基药, 可分为枪用和炮用两种, 均以酒精、乙醚为溶剂, 使硝化纤维素胶化而成。其主要成份为1号和2号硝化纤维素(又称1号和2号强棉)组成的“混合棉粉”(是生产上的简称), 另含有少量的安定剂(二苯胺), 残留溶剂(存在于火药胶体中, 称内挥发份)和表层水份(称外挥发份)等成份。小型火药, 为了赢得好的弹道性能和增加假比重, 需要进行钝感化, 使表层吸入钝感剂(樟脑或其它减燃剂如二硝基甲苯等, 其选择原则之一, 还要在贮存中能保持其原来的分布梯度), 并加入石墨光泽, 去掉药粒上的毛刺(钝感化时, 要加入定量的石墨, 首先加少许, 在继续钝化过程中再补加入其余部份, 但炮用火药光泽时只加石墨)。在总结第一次世界大战使用正常单基药的经验基础上, 提出了改善炮口焰和火药受潮现象, 研究出在原单基药中加入二硝基甲苯和苯二甲酸二丁酯, 可达到此目的, 称为无焰、抗湿火药, (简称FNH或NH火药), 现简称改性单基药。美国的M6火药, 可称这类药的代表。它不仅有上述二优点, 且温度敏感性小。表1.2是硝化纤维素火药的代表成份。

此类药的药形, 可分为粒状、带状(已少采用)和管状等。其中粒状药又可分为单孔、七孔、十四孔甚至有十九孔等品种, 具体尺寸视弹道性能要求而定。

要求速燃的火药, 我们还可以作成松质的, 这时在胶化工序加入大量的可溶性粉状盐类如硝酸钾, 成型后再将此盐溶解提出, 使成品呈多毛细孔结构, 是为松质火药。

表1.2 硝化纤维素火药的组成份

成 份 名 称	火 药 组 份 %		
	枪 用 药	炮 用 药	
		一般单基药	FNH 火药
硝化纤维素 (由1号和2号硝化纤维素配成N%)	95(~13.1)	95(~12.9)	83.3(~13.15)
溶剂 (残留的乙醚和酒精, 或称“内挥发份”)	~1.2	~2	
二苯胺 ($C_6H_5)_2NH$ (安定剂)	~1.5	~1.5	1.0
樟脑 $C_{10}H_{18}O$ (钝感剂)	1.1~1.3(或无)	—	
二硝基甲苯 $C_6H_3CH_3(NO_2)_2$	—	—	9.8
苯二甲酸二丁酯 $C_6H_4(COOC_4H_9)_2$	—	—	4.9
石墨 (超出100%)	0.2(或无)	~0.08(或无)	
水份 (或称外挥发份)	1~1.5	0.9~1.6	
硫酸钾 K_2SO_4			1.0

1.2.2 双基药

双基药包括巴里斯太蒂 (Ballistite) 和改良柯达药 (Cordite, M. D.)。它们的共同点是都含有相当量的硝化甘油, 而不同点是, 巴里斯太蒂药采用了含氮量低的弱棉 (3号硝化纤维素), 并以硝化甘油为主要胶化剂 (有用二硝化二乙二醇来代替一部份或全部硝化甘油的), 而柯达药则多用高氮量的硝化纤维素 (为1号和2号硝化纤维素的混合物, 也有采用单一的“仲棉”或叫皮罗硝化棉 (Pyro-collodium) 的), 并以丙酮或醇醚为溶剂 (以醇醚为溶剂者称Cordite R. D. B.) 以助胶化, 制成后仅残留极少量溶剂未被驱除, 它们的代表成份如表1.3。

此类药形可分为片状、带状、环状、绳状 (Cord形) 及管状等。一般前膛炮 (如迫击炮) 采用巴里斯太蒂型的带、片或环状药形; 而大口径的后膛榴弹炮则采用管状药形。也有将巴里斯太蒂或柯达药作成七孔粒状或七孔花瓣形状的, 并且燃烧层厚度小到1毫米以下, 这全视弹道性能的需要和生产的工艺水平而定。几种双基药 (又称含难挥发性溶剂的火药, 所谓难挥发溶剂是指硝化甘油, 系相对于酒精、丙酮而言) 的代表成分见表1.3。

表1.3 几种双基火药的组成份

成 份 名 称	不 同 火 药 的 组 成 份 %						
	迫 击 炮 用 药		火 箭、加 农、榴 弹 及 加 榴 炮 用 药				
	巴里斯太蒂型	柯达型	巴里斯太蒂型火药			柯 达 药	
			含硝化二乙二醇的火药	含硝基胍的三基药	含硝化甘油药	含硝化甘油的	含硝基胍的三基药
混合硝化棉		64.5				65	
弱棉 (N:11.9~12.1%)	57.7		66	64.5	42	58.5	28.0
硝化甘油	40	34				30	22.5
二硝化二乙二醇			23	29	18.5		
硝基胍					30.0		47.7
中定剂	2	1	5.5	3	1.3	3	1.5

(续)

成份名称	不同火药的组成份%							
	迫击炮用药		火箭、加农、榴炮及榴炮用药					
	巴里斯太蒂型	柯达型	巴里斯太蒂型火药			柯达药		
			含硝化二乙二醇的火药	含硝基胍的三基药	含硝化甘油药	含硝化甘油的	含硝基胍的三基药	
其它安定剂 (二苯胺, 柯卡基特 $\text{CO} \begin{smallmatrix} \text{NH}_2 \\ \diagup \\ \text{N}(\text{C}_6\text{H}_5)_2 \end{smallmatrix}$)		0.2	1.5	2.5	0.5			
其它胶化剂			4.0		7.7	7.5		
凡士林	0.3	0.3		1		1	3.5	
丙酮(超出%的)		0.5					1.5	0.5
水份(超出%的)	0.6	0.4		0.5		0.5	0.5	(乙醇)
石墨(超出%的)	0.2		0.1	0.1	0.1			0.2
氧化镁(超出%的)		0.2	0.1	0.25	0.1			
硫酸钾			1					
冰晶石(Na_3AlF_6)								0.3

注: 有关表中组份的化学式见附录一。

1.2.3 含有不挥发性溶剂的火药

此种药系将梯恩梯、二硝基甲苯和中定剂等固体溶剂溶入混合器内(保持60~65°C)的酒精溶液中, 然后加入“弱棉”或“仲棉”, 加完后, 通蒸汽使温度升高到80~84°C, 水汽使酒精蒸发起着置换作用, 梯恩梯、中定剂等则成细粉末状析出, 均匀沉淀于为酒精预先膨润的弱棉组织内, 成为吸收药团, 然后送去驱水烘干, 最后经过高温、高压过程, 使之胶化成形。

当梯恩梯含量小于26%时, 不能再用普通压伸法成形, 据称这样压伸, 压力会大于2,000公斤·厘米⁻², 温度会超过120°C, 这是非常危险的。为了安全起见, 压力应低于1,000公斤·厘米⁻², 温度小于120°C。如将火药中梯恩梯含量增大, 则降低了火药的物理安定性。因此, 制造这种火药, 需要采用压铸法。

总之, 由于此类火药在生产中危险性大, 生产效率低, 控制质量困难, 因此, 未被广泛采用, 其具有代表性的成份见表1.4。

表1.4 含不挥发性溶剂火药的成份

火药组份	组成%	
	配方甲	配方乙
弱棉(3号硝化棉)	65	
仲棉(N:12.4~12.7%全溶性)		62.6
梯恩梯(TNT)	25	30.7
二硝基甲苯	5	
中定剂	4.5	5.0
水份	0.5	0.5
草酸钠		1.2

1.3 火药成份的选择

在设计火药时, 需要考虑以下因素:

- ① 原材料的供应;
- ② 工艺性;
- ③ 贮存安定性;
- ④ 成品性能的均匀性;
- ⑤ 爆热;
- ⑥ 易于点燃;
- ⑦ 对炮膛的烧蚀性;
- ⑧ 射击时生烟和焰的现象;
- ⑨ 吸湿性;
- ⑩ 成品的机械性能。

要完全达到上述各项理想条件的火药是不容易的, 有时甚至是不可能的, 因为这些因素多是相互矛盾的。比如“烟”和“焰”的问题等。单基药以作成无烟抗湿的FNH火药为好。实验证明, 当这种药在20%的相对湿度大气中放置后, 再置于90%的相对湿度中时, 重量增加仅0.9%, 而普通的单基药则增加2.5~3.5%。消灭或减少炮口焰, 可采取降低爆热和爆温的方法, 也可以改善火药的燃烧性能, 使最大膛压点后移动, 以达到消焰的目的。从表1.5列举的三种火药看, FNH火药的爆温和爆热均较低, 对火炮的烧蚀也较轻。

表1.5 三种不同类型火药的爆热与爆温

火药名称	成 份 含 量 (%)		爆热 kcal · kg ⁻¹	计算的药室温度K
单基皮罗火药	硝化纤维素(N:12.57%)	95.79	874	2670
	二苯胺	0.49		
	挥发份	3.72		
双基柯达药	硝化纤维素(N:13.15%)	78.20	1150	3470
	硝化甘油	19.80		
	二苯胺	0.99		
	挥发份	1.01		
无烟抗湿 (FNH)火药	硝化纤维素(N:13.15%)	83.3	750	2470
	二硝基甲苯	10.8		
	苯二甲酸二丁酯	4.9		
	二苯胺	1.0		
	K ₂ SO ₄	0.0		

在第一次世界大战后, 德国为了解决战时甘油来源的困难, 被迫寻找代替硝化甘油的新成份双基药, 研究的结果, 获得了出乎意外的收获。

用煤、石灰和水为原料, 可以合成乙二醇。它也可以用石油气乙烯生成。两个乙二醇缩合成一缩二乙二醇(HOCH₂CH₂OCH₂CH₂OH), 将其硝化后, 可制得硝化二乙二醇(乃二硝化一缩二乙二醇的简称)。以硝化二乙二醇制造的火药, 比用硝化甘油在制

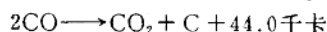
造上有许多优点；如说它胶化硝化纤维素的能力较硝化甘油为强，因而易于往药料中加入非胶化剂的消焰无机盐类（如 K_2SO_4 ）和制成含黑索今 $[C_2H_5N_3(NO_2)_3]$ 、泰安 $[C(CH_2ONO_2)_4]$ 等成份的火药；还说在生产上更为安全，在压延机上胶化容易，着火事故较压延含硝化甘油的药减少等等。实践证明，有些优点是溢美过实，是由于找消极的代用品，而获得了新途径所发出的过誉之词，比如硝化二乙二醇火药性硬脆，又如对原材料中的乙二醇的含量控制不严时，则硝化后用于制造火药对工人的健康危害较大（在相同温度下，硝化乙二醇的蒸汽压比硝化二乙二醇和硝化甘油的高十多倍）。正确的评价应该是，开辟了新的脂肪醇类硝酸酯的来源，并有可能出现二缩三乙二醇等为原料的新火药。

把某种炮药成份中的硝化甘油，由37.0%降为28.5%（这时适当增加有助胶化作用的二硝基甲苯）以降低火药爆热时，发现在压延机上薄压次数要增加约一倍，才能达到和原配方相同的胶化效果，即出现制造上的困难，但在火药成份中，用热值系数（ β ，参看本书第四章4.4节表4.7）为10.5的硝化二乙二醇，来代替热值系数为17.5的硝化甘油，就可以在制造上毫无困难地，把原来爆热为 $820\text{kcal}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的火药的爆热降为约 $550\text{kcal}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，炮管寿命会成倍增加，这是大有益处的。这里，硝化二乙二醇为降低火药爆热，制造“冷药”，提供了方便途径。下面是德国的一种管状硝化二乙二醇火药的标准成分：

品种Digl. R. P. G-1（其中Digl表二乙二醇，R. P. 表管状药，G-1表新的低热量的并加有1%消焰剂的火药）

成份	含量（%）
弱棉（N ₂ 11.95%）	66.0
硝化二乙二醇	23.0
中定剂	5.7
乙苯胺基甲酸酯 $(C_6H_5(C_2H_5)NCOOCH_3)$	4.1
二苯胺基甲酸酯 $((C_6H_5)_2NCOOCH_3)$	
甲苯胺基甲酸酯 $(C_6H_5CH_3NCOOCH_3)$	
石墨（加入药团中）	0.1
氧化镁	0.1
硫酸钾	1.0
	100.0

这种火药在热量计中测出的热量，为 $690^{+10}_{-10}\text{kcal}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，此热量数据包括



反应所放出的热，即在热量计中，因冷却平衡移动有碳析出。在火炮中，因做功冷却较快，无碳析出，故热量为 $550\sim 570\text{kcal}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

在较大型和中型榴弹炮用的低装药中（装药量小，射程近的装药），不能采用低热量的火药，因在这种装填条件下，低热量的火药燃速太慢，会出现射击时药燃不尽、初速或然误差大等缺陷，又不能把燃烧层作得过薄来调剂，因过小的药厚，会给生产带来困难。这样，硝化二乙二醇火药在加农炮装药以及榴炮的全装药中所表现出的优点，就不能在榴炮的低装药中体现，解决的办法是，要提高燃速也就是要提高火药热量。经在烧